

Numerische Küstenmodelle im Dienst der Klimawirkungsforschung

Zielke, Werner

Veröffentlicht in:
Jahrbuch 1996 der Braunschweigischen
Wissenschaftlichen Gesellschaft, S.47-54



Verlag Erich Goltze KG, Göttingen

WERNER ZIELKE, Hannover

Numerische Küstenmodelle im Dienst der Klimawirkungsforschung

Motivation

Der atmosphärische Gehalt an Kohlendioxid ist seit Beginn der Industrialisierung von etwa 280 ppmv auf etwa 358 ppmv in 1994 gestiegen, und schon Ende des vergangenen Jahrhunderts warnte der schwedische Chemiker Arrhenius vor einem verstärkten Treibhauseffekt als Folge des Anstiegs des Kohlendioxidgehalts. Als weitere Treibhausgase sind vor allem Methan, FCKW und Distickstoffoxide erkannt worden, und es besteht ein wissenschaftlicher Konsens, daß ein weiterer Anstieg zu Klimaänderungen führen wird. Hierfür gibt es mehrere Belege, z. B. lassen die paläoklimatischen Befunde aus Eisbohrkernen den Schluß zu, daß hohe Konzentrationen in der Erdgeschichte mit hohen Mitteltemperaturen korreliert sind. Es gibt die bekannte Wirkung der Treibhausgase. Schließlich gibt es die gekoppelten Ozean-Atmosphäre-Modelle mit ihren Szenarienrechnungen. Gegenwärtige Einschätzungen (1996) sprechen von einem Anstieg der globalen Mitteltemperatur zwischen 2 und 5 C bis 2100, einem Anstieg des Meeresspiegels um 65 cm (+/- 35 cm) und Veränderungen der großen Strömungen im Meer, von Jahresgängen der Temperatur und der Niederschläge, von Zugbahnen der Tiefdruckgebiete und der interannualen Variabilitäten.

Die Klimawirkungsforschung (Klimaimpakt-, Klimafolgenforschung) entspricht dem Vorsorgeprinzip, indem sie die Ergebnisse der Klimaforschung aufgreift und im Vorgriff die Wirkungskette zu erhellen versucht, die sich vom Klima auf natürliche und zivilisatorische Systeme erstreckt. Dabei sollen im Sinne des Bund-Länderprogramms zur Klimawirkungsforschung nicht nur physikalische sondern auch biologische und sozioökonomische Effekte behandelt werden.

Die Küstenregionen der Welt sind nicht nur am stärksten bewohnt, sie sind auch am verwundbarsten, was die Folgen einer erwarteten Klimaänderung angeht. Dies gilt auch für einige Regionen an der deutschen Nordsee- und Ostseeküste. Für diese versucht der Vortragende mit seinem Institut und in Zusammenarbeit mit Meteorologen (Universität Hannover und Universität Leipzig) die Wirkungskette von der Atmosphäre über Strömungen, Seegang und Wasserstände bis hin zu den morphologischen Veränderungen mit Hilfe zu koppelter numerischer Modelle zu erfassen.

* Kurzfassung eines Vortrags vor der Plenarversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

Szenarien

Mit Hilfe globaler meteorologischer Modelle werden vom Max-Planck-Institut Hamburg Klimaänderungsexperimente auf 50 bis 100 Jahre durchgeführt. In Kontrollläufen wird mit der heutigen CO_2 -Konzentration gerechnet, in Szenario-Läufen mit vorgegebenen Anstiegen der CO_2 -Konzentration. Derzeit werden Modelle in ca. 500 km Auflösung und ca. 250 km Auflösung verwendet, erste Rechnungen in ca. 100 km Auflösung haben begonnen. Derzeit besteht mehr Vertrauen in die berechneten Temperatur- und Druckfelder als in die Niederschlags- und die für die Küstenforschung maßgeblichen Windfelder. Die Prognose hochfrequenter Variabilität in Klimamodellen und somit die Berechnung der Veränderung von Sturmaktivitäten nach Stärke und Richtung ist noch problematisch. Auch gibt es für die notwendige Regionalisierung, d. h. das Gewinnen räumlich hochaufgelöster Information für kleinere Gebiete, noch keine anerkannten Methoden. Dies bedeutet, daß es derzeit nicht vertretbar ist, Modellketten kritiklos anzuwenden, die die ganze Wirkungskette vom globalen Klimamodell über Modelle der Meere (z. B. Nordsee oder Ostsee) hin zu lokalen Modellen von Strömung, Wasserstand und Seegang und dann noch Modellen der Küstenveränderung nachvollziehen (Abb. 1). Die Fortpflanzung der Fehler könnte zu unververtretbaren Ergebnissen führen.

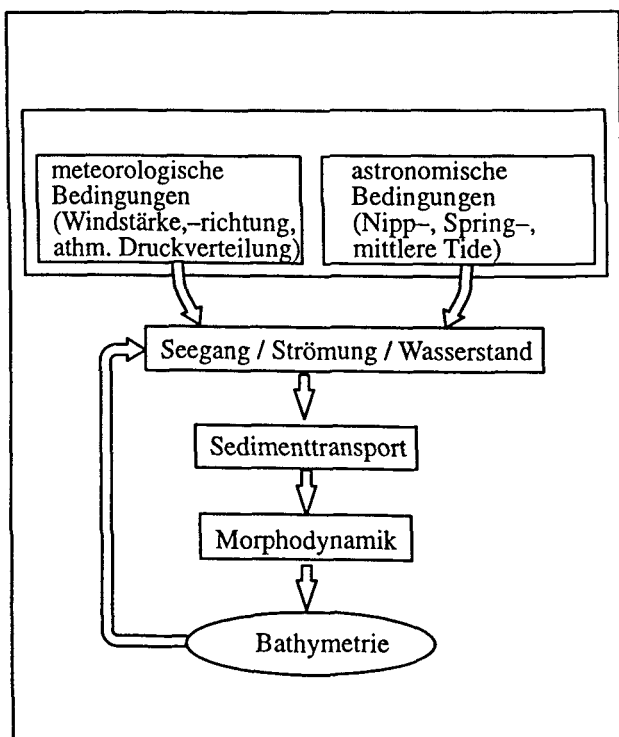


Abb. 1:
Morphodynamische Reaktion der Küste

Wohl aber kann man in jeder Zwischenebene gezielt Szenarien ansetzen, um die Transformation durch die Einzelmodelle zu untersuchen und Empfindlichkeitsanalysen für das Gesamtsystem durchzuführen.

Bezüglich der Atmosphäre gibt es neben den globalen CO₂-Szenarien demnach auch die Möglichkeit regionale Szenarien bezüglich Sturmhäufigkeit, -intensität, -richtung anzusetzen. Neben der globalen Veränderung des Meeresspiegels kann man auch regionale Szenarien von Seegang, Strömung, Salinität und Temperatur ansetzen, um z. B. die rückkoppelnde Wirkung der Küstenveränderung zu untersuchen. In diesem Sinne ist Klimawirkungsforschung derzeit noch auf den Versuch beschränkt, das komplexe System Atmosphäre, Meer, Küste besser zu erfassen, ohne daß konkrete quantitative Aussagen der Klimaänderung und der damit verbundenen Küstenreaktion gemacht werden können.

Nordseeküste: Innere Deutsche Bucht

Ein wesentliches Ziel ist es, Aussagen zur zukünftigen Bemessung von Deichen an der Deutschen Nordseeküste unter Berücksichtigung von klimatologischen Randbedingungen zu treffen. Ein Meeresspiegelanstieg beeinflusst die Tidedynamik regional unterschiedlich. Aufgrund von Unsicherheiten über die klimatische Entwicklung wird zur Abschätzung der meteorologischen Randbedingungen von Szenarien aus großräumigen Klimamodellen ausgegangen. Für ausgesuchte Wetterlagen werden dann mesoskalige Modellrechnungen der atmosphärischen Verhältnisse durchgeführt. Durch die Kopplung dieser Klimaszenarien mit hydrodynamisch-numerischen Modellen für Strömung und Seegang kann das Ziel unter Berücksichtigung eines angenommenen Meeresspiegelanstiegs erreicht werden.

Die Kopplung der Modelle des Nordfriesischen Wattenmeeres, der Deutschen Bucht und des kontinentalen Schelfs mit den Modellergebnissen der meteorologischen Rechnungen ist in Abb. 2 dargestellt.

Ergebnisse über den Einfluß eines Meeresspiegelanstiegs auf die Gezeitendynamik in der inneren Deutschen Bucht liegen bereits vor. Die Nordsee reagiert als nichtlineares System derart, daß Gezeitenhub, Niedrig- und Hochwasser und daraus resultierend die Gezeitenströme signifikant vom mittleren Niveau des Meeresspiegels abhängen. Derzeitige Untersuchungen konzentrieren sich auf die morphologische Reaktion der Flachwassergebiete, die rückkoppelnd die Gezeiten beeinflussen können. Insgesamt zeigt sich, wie zu erwarten, daß bei unveränderten Windverhältnissen das mittlere Strömungssystem sehr viel stärker auf eine Meeresspiegeländerung reagiert als die Sturmfluten. Deren Scheitel steigen nur wenig mehr als der mittlere Anstieg des Meeresspiegels, da die größere Wassertiefe ein lineares Systemverhalten bedingt. Auf der Basis dieser Ergebnisse werden z. Zt. auch Änderungen der Windverhältnisse in die Untersuchungen einbezogen.

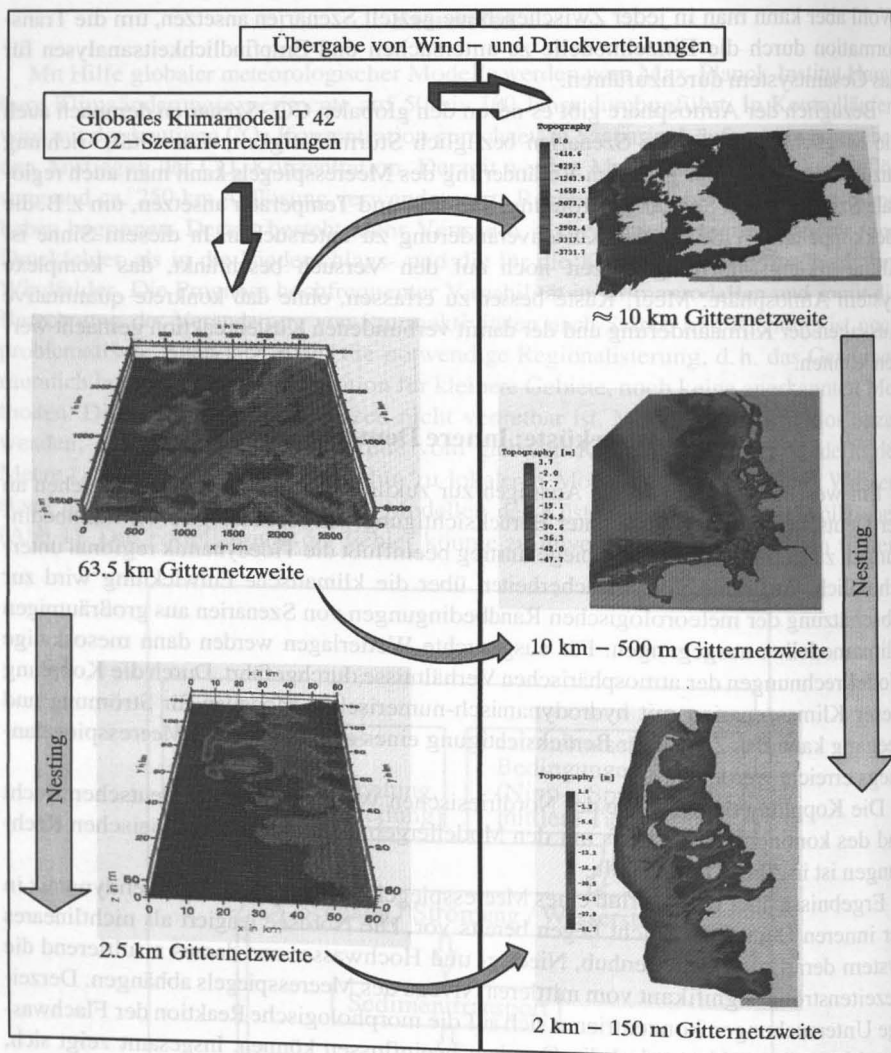


Abb. 2:
Modellkopplung Atmosphäre und Küstengewässer

Ostseeküste: Darß-Zingster und Westrügische Bodden

Auch die morphologische Gestalt der Ostseeküste ist geprägt durch das Wirken von Wind, Wellen und Strömung, die letztlich die Auswirkungen des herrschenden Klimas sind.

Für die Ostseeküste wird die Region um die Darß-Zingster und die Westrügischen Bodden hinsichtlich morphologischer Änderungen sowohl in der Vergangenheit als auch für Szenarien der Klimawirkungsforschung untersucht. Die Komplexität dieser Problemstellung und die breite Herangehensweise zur Lösung zeigt sich in den unterschiedlichen Schwerpunkten der an diesem Vorhaben beteiligten Arbeitsgruppen der Universitäten Hannover, Leipzig und Greifswald.

Die geologischen und geomorphologischen Aspekte werden von Teilprojekten bearbeitet, die sich mit der holozänen Entwicklungsgeschichte und mit historisch bis rezenten Küstenveränderungen dieser Region befassen. In den meteorologischen und morphodynamischen Teilprojekten kommen zum einen statistische Methoden – z. B. bei Untersuchungen von Häufigkeiten von Starkwindereignissen und extremen Pegelständen – zum Einsatz, zum anderen werden eine Vielzahl numerischer Modelle – beginnend mit einem halbempirischen Modell zur Beschreibung der Küstenlängsentwicklung bis hin zum konzeptionellen prozeßorientierten dreidimensionalen Modell – zur Lösung der o. g. Problematik entwickelt und angewendet.

Hydrodynamisch-numerische Simulationen werden sowohl für die Darß-Zingster und die Westrügischen Bodden als auch für die Außenküste der Halbinseln Fischland, Darß und Zingst durchgeführt. Bei diesen Modellierungen der Strömungs- und Sedimenttransportprozesse müssen je nach Gebiet verschiedene Einflüsse mehr oder weniger stark berücksichtigt werden.

So wird bei der Darß-Zingster Boddenkette eine in dieses System einlaufende Welle durch die drei schmalen Verbindungen zwischen den einzelnen Bodden sehr stark gedämpft, so daß die Strömungs- und Wasserstandsverhältnisse insbesondere in dem westlichen Saaler Bodden überwiegend durch die dort vorherrschenden Windverhältnisse geprägt sind. Infolgedessen sowie aufgrund der komplizierten Land-See-Verteilung in diesem Gebiet ist die Annahme räumlich konstanter Windfelder offensichtlich nicht gerechtfertigt, so daß eine Kopplung eines zweidimensionalen vertikal integrierten Strömungsmodells mit einem Atmosphärenmodell durchgeführt wird.

Wie eingangs bereits erwähnt sollen bisherige und zukünftige morphologische Entwicklungen dieser Region erfaßt bzw. prognostiziert werden. Für den Bereich der Außenküste ist diesbezüglich der Seegang der dominierende Prozeß, der in den Strömungs- und Sedimenttransportmodellen in angemessener Art und Weise berücksichtigt werden muß. Die somit erforderliche Kopplung eines Strömungsmodells mit einem Seegangsmodell läßt sich mittels welleninduzierter Kräfte realisieren, die aus den Ortsableitungen der sog. *Radiation Stress* Komponenten berechnet und als Quellterme in der Impulsgleichung des Strömungsmodells implementiert werden.

Darüber hinaus liefert ein Seegangsmodell gewisse Parameter, die für bestimmte empirische Formulierungen benötigt werden, mit deren Hilfe der bodennahe Sediment-

transport quantifiziert werden kann. Die Bodenevolutionsgleichung schließlich, welche den morphodynamischen Berechnungen am Ende dieser Modellkette zugrunde liegt, berechnet Sohllagenveränderungen auf der Basis dieser Transportraten.

Ostseeküste: Oderhaff

In den letzten Jahren befaßte sich der Küstenschutz im Bereich der Ostsee vordringlich mit der Dimensionierung von Seedeichen. Als Grundlage standen zahlreiche Extremwertaufzeichnungen entlang der gesamten deutschen Ostseeküste zur Verfügung, die bis weit in das letzte Jahrhundert hineinreichen. Eine Dimensionierung der Hochwasserschutzanlagen ist mit ihrer Hilfe und unter zusätzlicher Berücksichtigung des säkularen Meeresspiegelanstieges durchaus möglich.

Dagegen ist für die Deichanlagen im Bereich des Oderhaffs eine solche Vorgehensweise nicht möglich. Auch hier existieren zwar an einigen Orten Wasserstandsaufzeichnungen für Extremereignisse über einen langen Zeitraum. Eine Extrapolation aus diesen Aufzeichnungen für das gesamte deutsche Haffgebiet ist jedoch nicht möglich, da die Verteilung der Aufzeichnungsorte zu wünschen übrig läßt, und es sich außerdem gezeigt hat, daß die Wasserstände innerhalb des Haffs stark variieren. Hinzu kommen anthropogene Eingriffe im Bereich der Durchbrüche zur Ostsee, die veränderte Rahmenbedingungen mit sich brachten.

Die Anwendung eines numerischen Modells zur Simulation von Wasserständen und Strömungen ist in solchen Fällen angezeigt. Dazu sind lediglich abgesicherte Aufzeichnungen von Extremereignissen an den Rändern des Untersuchungsgebietes erforderlich.

Basis für die Berechnungen ist die schwerste aufgezeichnete Sturmflut von 1872 unter Einbeziehung eines säkularen Meeresspiegelanstieges von 30 cm.

Modellgrundlage bildete die Finite-Elemente-Methode, da sie eine hohe Diskretisierung in Bereichen hoher Dynamik bei vergleichsweiser grober Auflösung von Gebieten geringer Dynamik ermöglicht.

Im Einflußbereich des Oderhaffs existieren ausgeprägte Überflutungsgebiete sowohl auf polnischer als auch auf deutscher Seite. Diese Retentionsräume mit einer Größe von mehr als 400 km² müssen bei einer solchen Simulation berücksichtigt werden. Infolge dieser Komplexität wurde das Projekt in zwei Abschnitte unterteilt.

Im ersten Abschnitt wurde der reine Wasserkörper ohne Überflutungsgebiete untersucht. Abb. 3 zeigt das Finite-Elemente-Netz für den Wasserkörper mit 11.100 Knoten und 19.000 Elementen, das anhand offizieller Seekarten digitalisiert worden ist. Das Simulationsgebiet erstreckt sich von den Mündungsbereichen des Peenestroms, der Swina und der Dziwna bis zum Rückstaupunkt bei Güstebiese und weist eine Nord-Süd-Ausdehnung von ca. 160 km auf. Die Untersuchungen sind für diesen Abschnitt bereits abgeschlossen. Für die Validierung wurde unter anderem die Sturmflut vom November 1995 verwendet.

Im zweiten Abschnitt wurden die deutschen Überflutungsflächen anhand eines bereits existenten digitalen Geländemodells berücksichtigt. Diese Modelle zeichnen sich durch

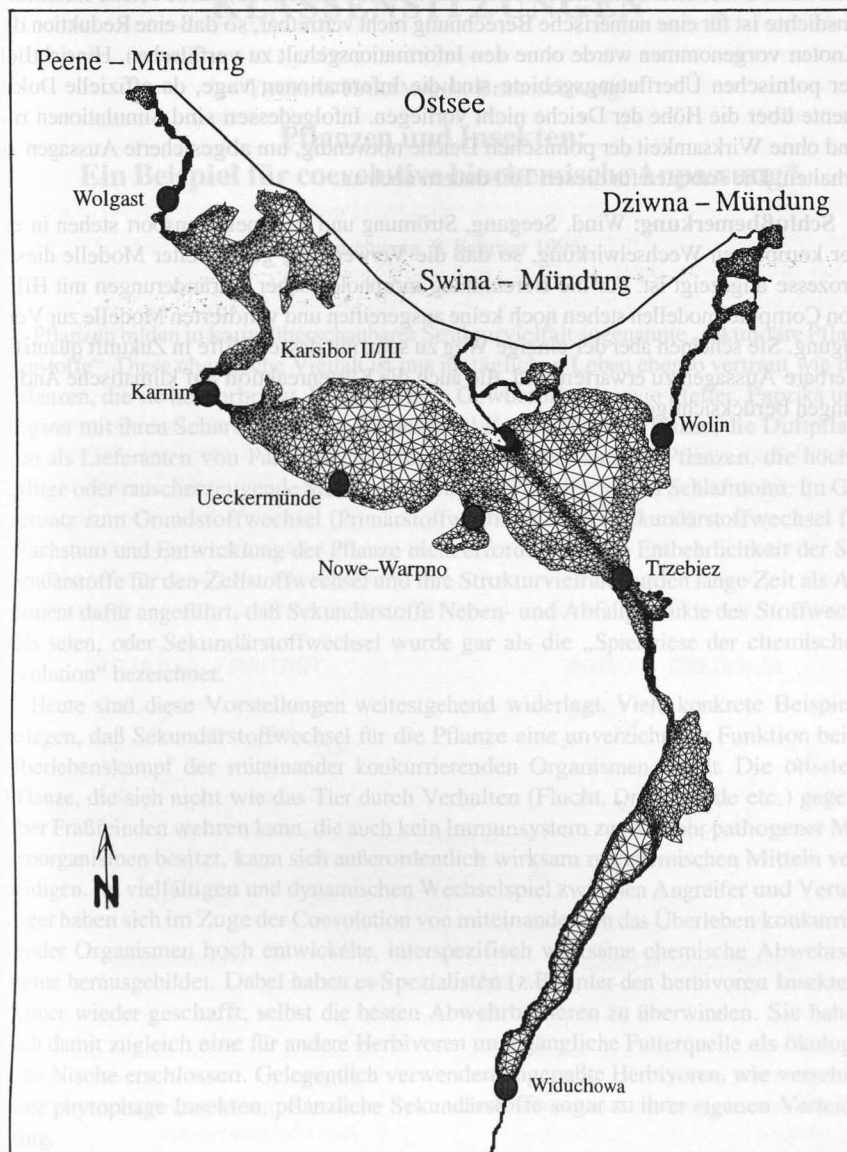


Abb. 3:
Finite-Element-Modell des Oderhaffs

eine hohe Datendichte mit mehreren hunderttausend Knoten aus. Eine solche Informationsdichte ist für eine numerische Berechnung nicht vertretbar, so daß eine Reduktion der Knoten vorgenommen wurde ohne den Informationsgehalt zu verfälschen. Hinsichtlich der polnischen Überflutungsgebiete sind die Informationen vage, da offizielle Dokumente über die Höhe der Deiche nicht vorliegen. Infolgedessen sind Simulationen mit und ohne Wirksamkeit der polnischen Deiche notwendig, um abgesicherte Aussagen zu erhalten. Die Arbeiten für diesen Teil dauern noch an.

Schlußbemerkung: Wind, Seegang, Strömung und Sedimenttransport stehen in einer komplexen Wechselwirkung, so daß die Verwendung gekoppelter Modelle dieser Prozesse angezeigt ist. Für die Berechnung morphologischer Veränderungen mit Hilfe von Computermodellen stehen noch keine ausgereiften und validierten Modelle zur Verfügung. Sie scheinen aber der einzige Weg zu sein, mit dessen Hilfe in Zukunft quantifizierbare Aussagen zu erwarten sind, die auch die Küstenreaktion auf klimatische Änderungen berücksichtigen.

Prof. Dr-Ing. W. Zielke

Institut für Strömungsmechanik und Elektronisches Rechnen im Bauwesen · Universität Hannover
Appelstraße 9A · 30167 Hannover